

基于PSR模型的成都市土地生态安全评价

陈 涛, 陈施越, 樊玉茹

西南民族大学公共管理学院, 四川 成都

收稿日期: 2023年6月7日; 录用日期: 2023年9月1日; 发布日期: 2023年9月8日

摘 要

研究目的: 通过构建土地生态安全评价指标体系, 对2011~2022年成都市土地生态安全做出综合评价, 揭示成都市土地生态安全差异及其主要影响因素, 指导土地合理利用。研究方法: 运用PSR评价模型建立评价指标体系, 运用熵值法计算权重, 综合评价成都市土地生态安全指数。研究结果: 在2011~2020年间, 成都市土地生态系统压力指数出现先降后升, 然后趋于平稳; 土地生态系统状态指数整体上呈现出上升的趋势; 土地生态安全响应指数稳步上升。研究结论: 整体上看, 成都市土地生态安全综合评价指数发展不稳定, 成都市政府应该加大对生态环境方面的投入, 制定土地生态发展策略, 全面提高成都市土地生态安全等级。

关键词

PSR模型, 土地生态安全评价, 成都市

Evaluation of Land Ecological Security in Chengdu Based on PSR Model

Tao Chen, Shiyue Chen, Yuru Fan

School of Public Administration, Southwest Minzu University, Chengdu Sichuan

Received: Jun. 7th, 2023; accepted: Sep. 1st, 2023; published: Sep. 8th, 2023

Abstract

The paper is going to make a comprehensive evaluation of land ecological security in Chengdu during 2011~2022 by constructing an evaluation index system of land ecological security. Also the paper will reveal the differences and main influencing factors of land ecological security in Chengdu, and guide the rational use of land. PSR evaluation model was used to establish the evaluation index system and the entropy method was used to calculate the weight to comprehensively evaluate the

land ecological security index of Chengdu. The results showed that from 2011 to 2020, the land ecosystem pressure index in Chengdu decreased first, then increased, and then stabilized. The state index of land ecosystem showed an upward trend on the whole. The response index of land ecological security increased steadily. It can be concluded that the development of comprehensive evaluation index of land ecological security in Chengdu is not stable. Chengdu government should increase the investment in ecological environment, formulate land ecological development strategy, and comprehensively enhance the level of land ecological security in Chengdu.

Keywords

PSR Model, Evaluation of Land Ecological Security, Chengdu

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着都市化和现代化进程的加快,我国经济迈入快车道的同时,人口数量也逐步增多,土地资源作为基本生产要素,为经济社会发展提供重要支撑。但是在对土地不断的开发和利用过程中,不合理的土地适应破坏了生态平衡,并且这种影响持续存在,如农用耕地大量减少、土地放射性物质增多、大气环境污染等直接关乎人类的生活质量。党的二十大报告再次提出“推进美丽中国建设,统筹产业结构调整、污染治理、生态保护”,揭示了生态建设的重要性,也为生态文明建设指明了方向,提供了遵循。

目前,世界学术界对生态安全还没有形成统一的定义。许多学者尝试从不同角度和方向出发,对生态安全进行定义。我国对生态安全的研究刚刚起步,现在主要处于初期的探索阶段。在1999年以前,我国关于生态安全的研究很少,主要以小区域的工程和植物保护等方面研究为主。二十一世纪初,我国关于生态安全的研究逐渐增多。在2000年,随着国务院发布的《全国生态环境保护纲要》,生态安全的概念被首次引入我国。同年,中国科学院将“国家生态安全的监测、评价与预警系统”项目作为2000年的重大课题进行开展研究。当前我国对于土地生态安全的研究对象可分为两大类,一类是以行政区或者经济区为研究对象,如王立业等(2022)以山东省作为研究对象[1]、张楠楠等(2022)以沈阳市作为研究对象[2]或者张中浩等(2022)以长三角城市群为研究对象[3];另一类是以流域、公园、地理区等为主要研究对象,如张晓瑶等(2022)以三江源国家公园为研究对象[4]、王玉青等(2022)以东江源作为研究对象[5]。

生态安全评价有以下几种模型:第一种由联合国经济合作开发署(Organization for Economic Cooperation and Development, OECD)建立的PSR(Press-State-Response, PSR)压力-状态-响应模型,如赵敏敏等(2021)[6]、卢国志等(2023)[7]、罗海平等(2022)[8];第二种是欧洲环境署和欧洲共同体统计局(European Environment Agency And European Statistical Office)基于PSR提出的DPSIR驱动力-压力-状态-影响-响应模型,如邵月花等(2022)[9]、史小蓉等(2022)[10]、马荣,孙艳红(2021)[11]。

2. 研究区概况

成都(简称蓉),世界美食之都,获得国家食品安全示范城市称;成都市连续十四年荣获中国最具幸福感城市。地处东经102度54分至104度53分与北纬30度05分至31度26分之间,位于四川省中部,地处四川盆地西部,横断山脉东缘,东西南北分别与德阳市资阳市、雅安市、阿坝藏族羌族自治州、眉

山市接壤，全市土地面积约 14,335 平方公里。境内海拔最高 5364 米(大邑县西岭镇苗基岭)，最低 359 米(简阳市沱江处境外河岸)。截止 2021 年底，成都市常住人口突破两千万人，其中城市人口超过一千六百万人，农村人口超过四百万人，土地面积约占全国的 0.1%，地区生产总值约占全国的 1.7%左右。

3. 数据来源与研究方法

3.1. 数据来源

本文数据来源主要是 2011 年~2020 年《成都市统计年鉴》和《中国统计年鉴》，还有一部分数据来源于 2011 年~2020 年的四川省国民经济和社会发展统计公报。

3.2. 研究方法

3.2.1. 评价指标体系构建

土地生态安全系统是多影响因素的复杂系统，我们在构建指标体系时，应当遵循科学性、整体性和客观性原则，结合具体实际情况，本文采用的是当前学术界常用的 PSR 模型，这类模型是国内学者常用的模型，从压力方面反映因为人类活动给生态环境造成的损害程度；状态反映当前自然环境、生态环境的真实状况；响应反映人类通过自然环境施加的压力而作出相关的回应。

通过阅读大量文献和总结相关学者的研究成果[12] [13] [14]，结合成都市实际的生态环境情况，本文选取了十二个评价指标构建了成都市土地生态安全评价指标体系，如表 1。考虑到实际情况，指标体系分为两种：正向指标和负向指标，正向指标表示值越大，土地生态安全越好；负向指标表示值越大，土地生态安全越差。本文的正向指标包括七项:农村居民可支配收入、第一产业比重、年降水量、造林面积、农林牧渔业总产值、人均地区生产总值、第三产业占 GDP 比重；负向指标包括五项，分别是：人口自然增长率、工业废水排放总量、城镇化率、第二产业比重、农用化肥施用量，其安全趋向性越小越安全。

压力(P): 人口自然增长率(P1)、工业废水排放总量(P2)、农用化肥施用量(P3)、第一产业比重(P4)、城镇化率(P5)。

状态(S): 年降雨量(S1)、农林牧渔业总产值(S2)、第二产业比重(S3)。

响应(R): 人均地区生产总值(R1)、绿地面积(R2)、农村居民可支配收入(R3)、第三产业比重(R4)。

Table 1. Construction and weight value of land ecological security evaluation index system in Chengdu city
表 1. 成都市土地生态安全评价指标体系构建以及权重值

准则层	指标层	指标属性	权重
压力(P)	人口自然增长率(P1)	-	0.113440991
	工业废水排放总量(P2)	-	0.057033882
	农用化肥施用量(P3)	-	0.006142348
	第一产业比重(P4)	+	0.091492626
	城镇化率(P5)	-	0.049384289
状态(S)	年降雨量(S1)	+	0.065708794
	农林牧渔业总产值(S2)	+	0.093548981
	第二产业比重(S3)	-	0.081381581

Continued

响应(R)	人均地区生产总值(R1)	+	0.076495306
	绿地面积(R2)	+	0.113915672
	农村居民可支配收入(R3)	+	0.094481021
	第三产业比重(R4)	+	0.078886287

3.2.2. 熵值法的计算

评价指标体系构建完成后, 下一步是确定每一个指标的权重, 这是本文进行土地生态安全评价的关键一步, 指标权重的大小直接决定着指标的重要性, 影响着最终评价结果。从现有学者对土地生态安全评价的成果来看, 权重的确定主要分为主观、客观两种方法。通常采用主观的赋权方法后会导致计算的结果带有主观色彩, 从而导致计算的结果不具有客观性和普遍性, 因此, 本文采用客观赋权的方法。

客观赋权法是指计算的过程不由个人主观意志判断, 而是通过客观的数据而计算出来的标准化数据进行赋权的一种方法, 具有较强的客观性。当前研究运用的方法主要有主成分分析法、熵值法和层次分析法等。结合本文研究内容以及指标体系的实际情况, 本文采用熵值法对各个指标进行客观赋权。具体方法如下:

由于各指标原始数据的单位并不统一, 因此, 运用极值法对原始数据进行无量纲化处理, 确保各个指标之间具有可比较性。同时, 运用无量纲化处理后的数据算出每个指标的特征比重, 公式如下:

$$\text{正向指标: } x'_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}$$

$$\text{负向指标: } x'_{ij} = \frac{x_{\max} - x_{ij}}{x_{\max} - x_{\min}}$$

式中, i 表示 x_{\max} 表示原始数据中指标的最大值, x_{\min} 表示原始数据中指标的最小值, x'_{ij} 表示第 i 年 j 指标的标准化值 ($i=1,2,3,\dots,n; j=1,2,3,\dots,m$)。

$$p_{ij} = x_{ij} / \sum_{i=1}^n x_{ij}$$

式中 P_{ij} 是第 i 年 j 指标的特征比重。

计算出各个指标的特征比重后, 计算指标的熵值 e_j 。

$$e_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln(p_{ij}), 0 \leq e_j \leq 1$$

利用熵值计算差异性系数 g_j 。

$$g_j = 1 - e_j$$

根据前式求得的各指标的权重 W_j , 最终计算综合每个城市的综合得分。

$$W_j = g_j / \sum_{i=1}^m g_j$$

3.2.3. 土地生态安全综合评价计算

根据上述计算步骤, 对成都市土地生态安全评价各项指标进行标准化处理并确定权重之后, 运用下列公式计算土地生态安全综合评价:

$$Y_n = \sum_{i=1}^m x'_{ij} W_j$$

Y_n 为(压力、状态、响应)系统的综合得分分值; m 为该子系统所具有的指标个数, x'_{ij} 表示第 i 年 j 指标的标准化值, W_j 为上述各指标的权重。

$$Y = \sum_{n=1}^3 F_n$$

Y 表示成都市土地生态安全的综合评价价值, 是压力、状态、响应准则层指标的综合反映, Y 的值越大, 表明成都市土地生态安全综合评价越高, 反之则越低; 根据以上方法, 确定出成都市 2011~2020 年土地生态安全综合评价指数。

4. 结果分析

目前关于土地生态安全评价的界定并没有统一的标准, 通过参考相关文献资, 李细归等(2017) [15]、霍子文, 王佳(2020) [16]李菲, 李媛(2023) [17], 结合成都市的实际情况, 本文将土地生态安全分为 5 个等级, 具体级别划分如表 2 所示。收集成都市土地生态安全的评价指标数据, 运用上述方法, 得出成都市 2021~2020 年的土地生态安全值及总体发展趋势图, 如表 3 所示。

Table 2. Land ecological security evaluation grade standard

表 2. 土地生态安全评价等级标准

安全等级	安全指数	系统特征
I 不安全	0~0.2	土地生态环境受到严重威胁, 生态系统功能遭到严重破坏, 功能混乱及退化的现象十分严重, 生态系统功能恢复或重建的难度很大。
II 较不安全	0.2~0.4	土地生态环境受到较大威胁, 生态系统功能因人为活动的干预而遭到极大破坏, 功能混乱及退化的现象严重, 受到干扰后的恢复或重建难度较大。
III 临界安全	0.4~0.6	土地生态环境受到一定程度的威胁和破坏, 生态系统功也受到了相应的影响, 但是可以自然修复, 可以抵御部分人为或外界环境的干扰。
IV 较安全	0.6~0.8	土地生态环境受到较小威胁, 生态系统功能良好, 结构较为完整, 生态系统自主恢复能力较强, 在受到一般干扰后能够恢复至健康状态。
V 安全	0.8~1.0	土地生态环境未受到威胁, 生态系统功能及结构处于理想状态, 基本没有受到干扰或破坏, 生态系统自我修复与完善功能很强。

Table 3. Evaluation results of land ecological security in Chengdu city

表 3. 成都市土地生态安全评价结果

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
压力指数	0.033	0.042	0.026	0.022	0.015	0.023	0.043	0.025	0.024	0.027
状态指数	0.012	0.005	0.034	0.030	0.033	0.048	0.055	0.068	0.067	0.077
响应指数	0.001	0.008	0.018	0.026	0.036	0.056	0.067	0.077	0.085	0.091
综合评价指数	0.295	0.223	0.415	0.635	0.425	0.265	0.556	0.900	0.647	0.755
评价等级	II	II	III	IV	III	II	III	V	IV	IV

4.1. 成都市土地生态安全子系统分析

4.1.1. 成都市土地生态系统压力指数分析

由表 3 可知, 在 2011~2020 年间, 成都市土地生态系统压力指数出现先降后升, 然后趋于平稳; 在 2011 年~2015 年间, 压力指数逐渐减小, 其原因主要是: 2011~2015 年, 成都市政府调整产业结构, 第一产业比重占比逐渐降低; 农用化肥施用量也在不断降低, 对于改善环境和土地的质量有一定的缓解和改善, 减轻了土地生态安全压力。

2015 年至 2017 年间, 压力指数有所上升, 其原因主要是: 人口自然增长率增加, 有大量外来人口流入, 城镇化步伐加快, 修建了大量的建筑, 农用化肥施用量有所增加, 整体上增加了土地生态安全系统的压力。

最后在 2017 年至 2020 年间趋于平缓, 其原因主要是: 成都市的第一产业比重下降并保持平稳, 维持在 3.6% 左右; 人口自然增长率也开始下降, 工业废水排放总量和农用化肥施用量相较于之前都有很大程度的减少, 进一步减轻了成都市土地生态系统的压力, 可以看出成都市对于生态文明建设的重视。

4.1.2. 成都市土地生态系统状态指数分析

由表 3 可知, 在 2011 年至 2020 年间, 成都市土地生态系统状态指数整体上呈现出上升的趋势, 虽然其中在 2012 年有一次下降, 但是下降幅度不是很大, 而且迅速回归正常, 然后开始上升。其主要原因是在 2012 年成都市的年降雨只有 610.9 毫米, 是 2011 年至 2020 年间最低的一年, 导致在 2012 年的土地生态系统状态指数下降。整体上看, 成都市 2011 年至 2020 年间土地生态安全状态系统发展较好, 农林牧渔业总产值由最初的 2011 年的 6,244,423 万元增加到 2020 年的 10,719,451 万元, 农林牧渔业方面有很大的发展; 第二产业占地区生产总值比重由最初的 2011 年的 46.4% 下降到 2020 年的 30.6%, 说明成都市响应国家号召, 积极调整产业结构, 对成都市土地生态系统状态指数的提升发挥了重要作用。

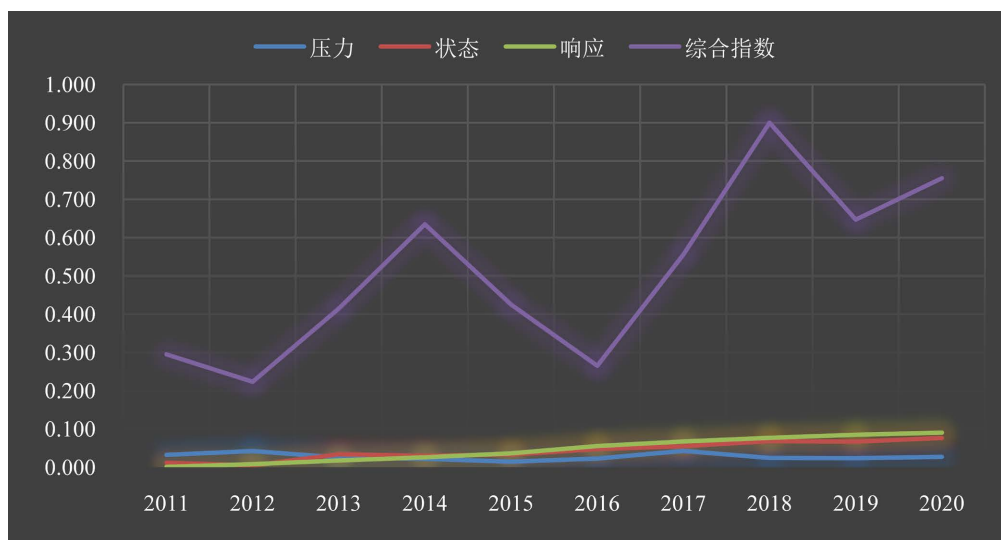


Figure 1. Change trend of land ecological security in Chengdu from 2011 to 2020

图 1. 2011~2020 年成都市土地生态安全变化趋势

4.1.3. 成都市土地生态系统响应指数分析

由表 3 可知, 在 2011 年至 2020 年间, 成都市土地生态系统响应指数表现出持续上升的状态, 其主

要原因是成都市在 2011 年至 2020 年间，经济发展迅速，地区生产总值稳步上升，人均地区生产总值由 60,117 元增加到 117,338 元，成都市在发展经济的同时，还着重发展成都市的生态环境建设；绿地面积从十年前的 17,314 公顷增加到 2022 年的 36,334 公顷，发展十分迅速，着力打造公园城市；农村居民可支配收入也在保持增长，十年的发展，极大地改善了农村生活环境；第三产业比重由 2011 年的 49% 上升到 2020 年的 65.7%，成都市积极调整产业结构，降低第一产业和第二产业的比重，逐步提高第三产业的比重，转变发展模式，制定各类保护生态环境的措施，尤其在公园、湿地等方向成为了成都市生态发展的重点对象，对于提高成都市土地生态系统响应指数有积极影响。

4.2. 成都市土地生态安全综合评价分析

由图 1 和表 3 可知，在 2011 年至 2022 年间成都市土地生态安全综合指数先降后升，变化比较大，整体还是呈现上升趋势。在安全等级方面，2011 年、2012 年、2016 年成都市土地生态安全综合评价处于较不安全的阶段，土地生态环境受到较大威胁，生态系统功能因人为活动的干预而遭到极大破坏，功能混乱及退化的现象严重，受到干扰后的恢复或重建难度较大，主要原因是成都市的人地矛盾较大，人口增长过快，工业废水排放总量和农用化肥施用量比较大，普遍的生态环境保护意识不强，城镇化率不高，产业结构不合理，第三产业占比不高，导致成都市土地生态安全压力增加。2013 年、2015 年、2017 年成都市土地生态安全综合评价处于临界安全的阶段，土地生态环境受到一定的威胁，生态系统功能遭到一定程度的破坏但可以维持其基本的功能，可以抵御部分人为或外界环境的干扰；其主要原因是城镇化率有所上升，农用化肥施用量减少，对于改善环境和土地的质量有一定的缓解和改善，导致成都市土地生态安全压力降低，成都市在 2013 年、2015 年、2017 年的土地生态安全综合评价等级较之前有所好转。2014 年、2019 年、2020 年成都市土地生态安全综合评价处于较安全的阶段，土地生态环境受到较小威胁，生态系统功能良好，结构较为完整，生态系统自主恢复能力较强，在受到一般干扰后能够恢复至健康状态；2018 年成都市土地生态安全综合评价处于较安全的阶段，土地生态环境未受到威胁，生态系统功能及结构处于理想状态，基本没有受到干扰或破坏，生态系统自我修复与完善功能很强。主要原因是 2018 年的工业废水排放总量最低，产业结构较为合理，土地生态系统的压力降低；人均地区生产总值和农民可支配收入提升，绿地面积增加，土地生态安全的响应和影响状态较好，成都市的整体土地安全综合指数较高。

5. 结论和建议

本文对成都市 2011 年~2020 年的土地生态安全情况进行综合评价，并根据安全等级对成都市土地生态安全存在的发展现状进行了分析，主要结论如下：

1) 在 2011~2020 年间，成都市土地生态系统压力指数出现先降后升，然后趋于平稳；成都市政府调整产业结构，第一产业比重占比逐渐降低；农用化肥施用量也在不断降低，对于改善环境和土地的质量有一定的缓解和改善，减轻了土地生态安全压力。人口自然增长率也开始下降，工业废水排放总量和农用化肥施用量相较于之前都有很大程度的减少，但还是有进步空间。

2) 在 2011 年至 2020 年间，成都市土地生态系统状态指数整体上呈现出上升的趋势。整体上看，成都市 2011 年至 2020 年间土地生态安全状态系统发展较好，农林牧渔业总产值由最初的 2011 年的 6,244,423 万元增加到 2020 年的 10,719,451 万元，农林牧渔业方面有很大的发展；第二产业占地区生产总值比重由最初的 2011 年的 46.4% 下降到 2020 年的 30.6%，说明成都市响应国家号召，积极调整产业结构，对成都市土地生态系统状态指数的提升发挥了重要作用。

3) 在 2011 年至 2020 年间，成都市土地生态安全响应指数表现出持续上升的状态，其主要原因是成

都市在 2011 年至 2020 年间, 经济发展迅速, 地区生产总值稳步上升, 人均地区生产总值由 60,117 元增加到 117,338 元, 成都市在发展经济的同时, 还着重发展成都市的生态环境建设, 着力打造公园城市; 农村居民可支配收入也在保持增长, 十年的发展, 极大地改善了农村生活环境; 第三产业比重由 2011 年的 49% 上升到 2020 年的 65.7%, 成都市积极调整产业结构, 降低第一产业和第二产业的比重, 逐步提高第三产业的比重, 转变发展模式, 制定各类保护生态环境的措施, 尤其在公园、湿地等方向成为了成都市生态发展的重点对象, 对于提高成都市土地生态系统响应指数有积极影响。

4) 在 2011 年至 2022 年间成都市土地生态安全综合指数先降后升, 变化比较大, 整体还是呈现上升趋势。在安全等级方面, 2011 年、2012 年、2016 年成都市土地生态安全综合评价处于较不安全的阶段, 2013 年、2015 年、2017 年成都市土地生态安全综合评价处于临界安全的阶段, 2014 年、2019 年、2020 年成都市土地生态安全综合评价处于较安全的阶段, 2018 年成都市土地生态安全综合评价处于较安全的阶段。整体上看, 成都市土地生态安全综合评价指数发展不稳定, 成都市政府应该加大对生态环境方面的投入, 制定土地生态发展策略, 全面提高成都市土地生态安全等级。

基金项目

本项目得到西南民族大学研究生创新型科研项目(项目编号 YB2023346)资助。

参考文献

- [1] 王立业, 师春春, 张文信, 刘艳芳, 刘耀林, 关梅. 2009-2019 年山东省耕地生态安全评价及障碍因子诊断[J]. 水土保持研究, 2022, 29(6): 138-145+153.
- [2] 张楠楠, 石水莲, 李博, 李红丹, 李双异. 基于“压力-状态-响应”模型的土地生态安全评价及预测——以沈阳市为例[J]. 土壤通报, 2022, 53(1): 28-35.
- [3] 张中浩, 聂甜甜, 高阳, 谈晟荟, 高峻. 长三角城市群生态安全评价与时空跃迁特征分析[J]. 地理科学, 2022, 42(11): 1923-1931.
- [4] 张晓瑶, 虞虎, 张潇, 周侃. 基于多源数据的三江源国家公园土地生态安全综合评价[J]. 生态学报, 2022, 42(14): 5665-5676.
- [5] 王玉青, 李恒凯, 武镇邦, 王秀丽. 东江源区生态安全格局演变分析与评价[J]. 科学技术与工程, 2022, 22(14): 5548-5554.
- [6] 赵敏敏, 何志斌, 蔺鹏飞, 韩双宝, 王思源. 基于压力-状态-响应模型的黑河中游张掖市生态安全评价[J]. 生态学报, 2021, 41(22): 9039-9049.
- [7] 卢国志, 庞鑫燕, 侯景伟, 郝建. 基于 PSR 模型的石嘴山市生态安全评价与预测[J]. 安全与环境学报, 2023: 1-10. <https://doi.org/10.13637/j.issn.1009-6094.2022.2031>
- [8] 罗海平, 李卓雅, 王佳铖. 基于 PSR 模型的中国粮食主产区农业生态安全评价及障碍因素诊断[J]. 统计与信息论坛, 2022, 37(1): 22-33.
- [9] 邵月花, 杨调调, 谈存峰. 基于 DPSIR 模型的渭河干流甘肃段生态安全评价[J]. 水土保持通报, 2022, 42(3): 166-170.
- [10] 史小蓉, 张超, 陈棋, 田湘云, 刘娇, 张玉薇. 基于 DPSIR 模型的 2003-2015 年文山州生态安全动态评价[J]. 西南林业大学学报(自然科学), 2022, 42(6): 122-130.
- [11] 马荣, 孙艳红. 基于 DPSIR 框架的黄河流域旅游生态安全动态评价研究[J]. 生态经济, 2021, 37(12): 145-151+162.
- [12] 刘镡, 康慕谊, 吕乐婷. 海南岛海岸带土地生态安全评价[J]. 中国土地科学, 2013, 27(8): 75-80+97.
- [13] 范胜龙, 杨玉珍, 陈训争, 张莉, 黄炎和. 基于 PSR 和无偏 GM(1,1)模型的福建省耕地生态安全评价与预测[J]. 中国土地科学, 2016, 30(9): 19-27.
- [14] 张焱文, 王枫. 2000-2018 年广东省土地生态安全与经济发展耦合协调分析[J]. 水土保持研究, 2021, 28(1): 242-249.

- [15] 李细归, 吴清, 周勇. 中国省域旅游生态安全时空格局与空间效应[J]. 经济地理, 2017, 37(3): 210-217.
- [16] 霍子文, 王佳. 基于 PSR 模型的北京市西北生态涵养区生态健康评价研究[J]. 中国土地科学, 2020, 34(9): 105-112.
- [17] 李菲, 李媛. 基于 PSR 模型的太原市土地生态安全评价及障碍因子分析[J]. 国土与自然资源研究, 2023(1): 51-56.